ÜBER DIE VERBREITUNG DER ORGANISCHEN ELEMENTE.

VORTRAG,

GEHALTEN IN DER

GENERALVERSAMMLUNG DES NASSAUISCHEN VEREINS FÜR NATURKUNDE

AM 10. DECEMBER 1893 IN WIESBADEN

VON

PROFESSOR **W. PREYER** IN WIESBADEN
Dr. MED. ET PHIL.

Immer auf's Neue erweckt die geringe Anzahl der organischen Elemente das Staunen des Naturforschers. Nur der fünfte Theil sämmtlicher bekannten Grundstoffe dient zum Aufbau und Leben aller thierischen, pflanzlichen, protistischen Wesen, mögen sie entwickelt oder unentwickelt, gesund oder krank, gross oder klein, häufig oder selten sein. Die Verbindungen von nur vierzehn Urstoffen genügen, die ganze unermessliche Fülle des Lebens an der Erdoberfläche zu erhalten. Es gibt wenige Thatsachen, welche so sehr wie diese die Verwunderung des Beschauers erregen über die Unerschöpflichkeit der Mittel in der lebenden Natur, und wohl lohnt sich die Mühe, die Verbreitung und die Eigenschaften jener bevorzugten einfachen Stoffe zu betrachten, schon weil sie die Hoffnung nährt, von einer neuen Seite her Licht in das Dunkel des grössten Räthsels, in das Geheimniss des Lebens, zu bringen.

Zunächst die Anzahl der organischen Elemente. Es ist klar, dass aus den Thieren keine anderen gewonnen werden können, als aus den Pflanzen, weil jene auf diese angewiesen sind. Alle Thiere sind entweder carnivor oder herbivor oder beides, d. h. omnivor; die Carnivoren leben von Herbivoren, so dass alle Thiere ohne Ausnahme schliesslich auf das Pflanzenreich angewiesen sind. Die Nahrung der Pflanzen, welche in der Luft, im Wasser, im Boden enthalten ist, muss dieselben Elemente enthalten wie die Gewebe der Pflanze selbst, da bei der Unveränderlichkeit jedes chemischen Elementes an der Erdoberfläche kein neues erzeugt werden kann.

Hieraus folgt mit zwingender Nothwendigkeit, dass alle zum Leben der Thiere, den Menschen eingeschlossen, erforderlichen Elemente in der Nahrung der Pflanzen enthalten sein müssen. Wirklich haben auch zahlreiche sorgfältige Experimente der drei letzten Jahrzehnte diese wichtige Erkenntniss immer fester begründet.

Viele Pflanzen können wachsen, blühen und Früchte tragen, wenn nur bei Zutritt der gewöhnlichen kohlensäurehaltigen Luft in der Nährflüssigkeit enthalten ist: Wasser, Salpeter, Gips, Kochsalz, Magnesiumsulfat, Calciumphosphat neben Spuren einer löslichen Eisenverbindung und Spuren eines Silicates und Fluorids.

Hier sind thatsächlich alle organischen Elemente vereinigt, und zwar in weit verbreiteten chemischen Verbindungen. Diese Verbindungen sind überall da, wo Pflanzen wachsen. Es klingt paradox und ist doch buchstäblich wahr, dass die Elemente dieser wenigen Verbindungen der bescheidenen Pflanzennahrung genau dieselben sind wie die einer üppigen Mahlzeit, mögen die Speisen noch so künstlich bereitet und die Gänge noch so zahlreich sein. Und abermals finden sich nur eben diese Elemente in derjenigen Nahrung, welche wir alle zu Anfang unseres Lebens ausschliesslich zu uns nehmen, in der Milch; nur diese, in Wahrheit das einzige vollkommene Nahrungsmittel, ist im Stande, alles zum Leben erforderliche Material dem sich entwickelnden Menschenkörper in der geeignetsten Form zu bieten, wie die Salze in der Nährflüssigkeit der Pflanze dieser bieten, was sie braucht.

So gänzlich verschieden von der letzteren die Milch, überhaupt jede menschliche Nahrung ist, die Elemente sind in beiden dieselben, genau dieselben der Art und Zahl nach, wie die des die Milch erzeugenden mütterlichen Körpers und wie die des Kindes, nämlich: 1. Kohlenstoff, welchen die höheren Pflanzen aus der Kohlensäure der atmosphärischen Luft beziehen. Sie zerlegen dieselbe unter dem Einfluss des Sonnenlichts vermittelst des Blattgrüns in ihren Zellen und hauchen dabei Sauerstoff aus. 2. Sauerstoff. Diesen entnimmt die Pflanze beim Athmen ebenfalls der Luft, hauptsächlich aber dem Wasser und damit zugleich 3. Wasserstoff. Es folgt 4. Stickstoff, den die Pflanzen vorwiegend dem Salpeter, d. h. den Nitraten der Alkalimetalle, aber auch dem Ammoniak entnehmen. 5. Schwefel, welcher von den Wurzeln unter Zerlegung der schwefelsauren Salze im Boden, nämlich der Sulfate der Alkali- und Erdalkalimetalle, aufgenommen wird. 6. Phosphor. Er stammt von den Alkali- und Erdphosphaten. 7. Chlor, vielen Pflanzen nur in äusserst geringen Mengen erforderlich, wird aus den Chloriden des Kalium und Natrium bezogen. 8. 9. 10. 11. Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium — letzteres oft nur in ganz minimalen Mengen erforderlich — werden der Pflanze aus dem Boden, auf dem sie wächst, zugeführt in den erwähnten Nitraten, Phosphaten,

Sulfaten, Chloriden. 12. Eisen geht ihnen im Wasser, im kohlensauren und vielleicht auch phosphorsauren Eisen zu. Endlich 13. Silicium oder Kiesel ist in Silicaten und in der Kieselerde und 14. Fluor in dem Calciumfluorid und in den Alkalifluoriden, welche löslich sind, enthalten.

Damit ist die Liste der allgemein verbreiteten organischen Elemente erschöpft. Mehr als 14 sind nicht erforderlich, um die Nahrung der Pflanzen, und damit die der Thiere, zusammenzusetzen. Da beide nichts Elementares enthalten können, was die eingeathmete Luft und die aufgenommene Nahrung nicht in sie hineinbringen, so muss also jenes kleine Verzeichniss alle unentbehrlichen organischen Elemente angeben. Alles körperliche und geistige Leben ist an sie unlösbar gekettet.

Indessen, eine Behauptung von solcher Tragweite bedarf noch anderer Beweise, ehe sie als vollgültig anerkannt werden kann. Offenbar muss jedes beliebige Thier, jede beliebige Pflanze, ein winziges Ei eines Parasiten so gut wie der Riesen-Wal, in dem es sich entwickelt, ein mikroskopischer Pilz so gut wie der Baum, an dessen Rinde er haftet, ein Wurm so gut wie der Mensch, der ihn zertritt, bei der chemischen Analyse schliesslich immer die obigen 14 Grundstoffe liefern. Haben diese wirklich eine so fundamentale Bedeutung für das Leben, dann darf keiner fehlen, wo Leben ist. Noch mehr. Benöthigt der Organismus zur Erhaltung seiner Lebensthätigkeit nach jeder Richtung nur jener 14 Stoffe, freilich in immer wechselnden Verbindungen, dann darf ein fünfzehnter und sechzehnter nicht ebenso regelmässig wie jene vorkommen.

Was ergibt nun die empirische Forschung? Zunächst hat sich herausgestellt, dass für zehn von jenen vierzehn organischen Elementen das allgemeine Vorkommen, die Existenz in jedem beliebigen Lebewesen, ganz unzweifelhaft sicher festgestellt ist, nämlich für

Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Calcium, Magnesium, Kalium, Eisen.

Es ist leicht jeden Augenblick zu beweisen, dass jeder Theil eines lebenden Körpers Kohlenstoff enthält. Denn wenn man ihn trocknet und erhitzt, so wird er schwarz, er verkohlt. Das Schwarze ist nur Kohle, weil es für sich im Sauerstoff verbrannt nur Kohlensäure liefert.

Wasserstoff und Sauerstoff sind schon deshalb massenhaft in jedem lebenden Wesen vorhanden, weil jedes zu Zweidrittel bis Dreiviertel

oder Vierfünftel, auch wohl Neunzehntel, aus Wasser besteht. *Corpora non vivunt nisi humida.*

Stickstoff und Schwefel sind ausnahmslos vorhanden, weil das Eiweiss diese beiden Elemente enthält und es kein lebendes Gewebe ohne Eiweiss gibt.

Phosphor, Calcium, Magnesium, Kalium und Eisen findet man jedesmal in der Asche einer verbrannten Pflanze oder eines verbrannten thierischen Cadavers. am bequemsten mittelst des Spectralapparats.

Niemand bezweifelt es, Jeder kann sich jeden Tag davon überzeugen. Nur darf man, um mit Bestimmtheit die Anwesenheit jedes Stoffes in jeder Pflanze zu erkennen, zum Veraschen nicht eine zu kleine Probe verwenden, sonst könnten namentlich die geringen Eisenmengen nicht nachweisbar sein.

Nun aber die vier übrigen Elemente. Wie verhält es sich mit deren allgemeiner Verbreitung in der lebenden Natur?

Vom Chlor und Natrium, welche im Kochsalz und Steinsalz zu den häufigsten Grundstoffen gehören, ist längst bekannt, dass sie keinem Thiere fehlen. Merkwürdigerweise aber gibt es noch heute einzelne Botaniker, welche meinen, beide seien für den pflanzlichen Stoffwechsel nicht unentbehrlich, es gebe sogar viele höhere Pflanzen, die gar kein Natrium enthielten. Ich kann darauf nur antworten, dass niemals der Beweis dafür erbracht worden ist, vielmehr jedesmal, wenn man grössere Mengen von Pflanzentheilen oder ganzen Pflanzen verbrannte, in der Asche sich Chlornatrium fand — auch weit entfernt vom Meere, wo schon die Luft mehr davon enthält, als im Binnenlande. Aber die in pflanzlichen Geweben gefundenen Mengen Chlor und Natrium sind meistens im Vergleich zu animalischen gering. Und ganz dasselbe gilt noch mehr von den beiden übrigen Grundstoffen Kiesel und Fluor. Viele Gewächse gedeihen in Nährflüssigkeiten, denen weder Silicate noch Fluoride zugesetzt worden waren. Aber daraus folgt nicht, dass nicht Spuren davon mit den übrigen Ingredienzien und zum Theil aus dem Glase, hineinkommen.

Wenn ich behaupte, dass höchstwahrscheinlich Silicium und Fluor ebenfalls zu den unentbehrlichen organischen Grundstoffen gehören, so stütze ich mich dabei auf die Thatsache, dass Fluor regelmässig in den Knochen, in den Zähnen, in der Milch vorkommt und eines der verbreitetsten Elemente des Erdbodens ist, sowie darauf, dass man jedesmal nach der Verbrennung einer grösseren Menge thierischer Organe

in der Asche Kieselerde findet. Wodurch anders, als durch die Pflanzen in der thierischen Nahrung sollte nun das Fluor und das Silicium in die höheren Thiere gelangen? Die Fülle von Kieselthieren im Meere allein schon spricht für eine biologische Bedeutung des Silicium. Es dient zur Festigung thierischer und pflanzlicher Gerüste.

Wenn man nun nach dem Vorkommen anderer als jener vierzehn Elemente in lebenden Körpern forscht, so begegnet man einer grossen Anzahl solcher, von denen man mit voller Sicherheit behaupten kann, dass sie überhaupt nicht in Pflanzen und Thieren in der freien Natur sich finden. Dahin gehören die schweren Metalle, wie Gold und Silber, Iridium und Platin, Ruthenium und Osmium, Rhodium und Palladium, auch die seltenen Erdmetalle aus Norwegen, wie Erbium und Terbium, Samarium und Gadolinium, Scandium und Yttrium und eine lange Reihe anderer. Es versteht sich von selbst, dass diese einfachen Stoffe ebenso wie alle anderen, wie im Besonderen Arsenik, vom Menschen, der sie sich verschafft hat, in den eigenen Körper oder in den eines Thieres gebracht werden können, was auch bei Arzneiverordnungen oft geschieht, z. B. wenn Wismuth- oder Quecksilber-Präparate angewendet werden, aber darum handelt es sich hier durchaus nicht. Es fragt sich vielmehr, ob in der freien Natur noch andere, als die 14 Elemente regelmässig in Pflanzen und Thieren vorkommen. Und diese Frage muss mit Entschiedenheit bejaht werden.

Vor Allem steht fest, dass Kupfer ein constanter Bestandtheil des Blutes der Dintenfische ist. Kupfer findet sich aber auch in dem rothen Farbstoff der Flügelfedern des südafrikanischen Pisangvogels. Zink ist in den sogenannten Galmeiveilchen und anderen Pflanzen in der Nähe von Zinkhütten regelmässig gefunden worden. Aluminium bildet einen oft nach vielen Procenten zählenden Bestandtheil der Asche gewisser Lycopodium-Arten. Lithium wurde im Tabak, Rubidium im Thee und in Rüben, Caesium in Austern aufgefunden, Bor in italienischen Trauben und Melonen, Jod und Brom in verschiedenen Seepflanzen, Mangan in Steckmuscheln. Und zwar sind alle diese und noch mehr Befunde durchaus nicht zweifelhaft, wiederholt von guten Beobachtern, welche unabhängig von einander an verschiedenen Orten arbeiteten, constatirt worden und nur der Anfang einer wahrscheinlich in der Zukunft zu einer grossen Zahl anwachsenden Reihe ähnlicher Thatsachen.

Es wäre wichtig, zu wissen, was bei solchem räthselhaftem Vorkommen einzelner Elemente ausser der Reihe in einzelnen Thier- und

Pflanzen-Arten etwa nur zufällig ist. So wie gegenwärtig die Frage liegt, kann nur gesagt werden, dass ausser den 12 bis 14 allen lebenden Wesen an der Erdkruste ohne Ausnahme zukommenden allgemein verbreiteten Lebenselementen einige als regelmässige Bestandtheile, vermöge eines sehr merkwürdigen Vermögens zu unterscheiden und zu wählen, noch andere ebenfalls sehr häufige oder local angehäufte Grundstoffe in sich aufnehmen.

Zu diesen gehören Jod, Brom, Lithium, Bor, Zink, Caesium, Rubidium, Kupfer, Mangan, Aluminium und vielleicht noch einige, die ich nicht anführe, weil ihr Nachweis nicht so sicher ist.

Demnach erscheint es angemessen, alle aus lebenden Wesen erhaltenen Grundstoffe in zwei Gruppen zu sondern. Die constant vorkommenden unentbehrlichen sind die Elemente erster Ordnung, die nicht constanten, wenn auch in einzelnen Pflanzen- und in einzelnen Thier-Arten regelmässig vorhandenen, sind die organischen Elemente zweiter Ordnung. Hingegen gehören die nur temporär zu Heil- oder Forschungszwecken in den Organismus künstlich eingeführten oder bei Gewerben in ihn eindringenden, wie Blei, Zinn u. a., überhaupt nicht zu den organischen Urstoffen, so wenig wie das Arsen der Arsenikesser in Steiermark.

Für die theoretische Untersuchung sind nun offenbar die Elemente erster Ordnung von ungleich grösserer Bedeutung, als die zweiter, weil sie niemals den Lebewesen fehlen; aber es ist die Sammlung von Thatsachen über das Vorkommen von anderen Grundstoffen in der Nahrung der Thiere und Pflanzen schon darum nicht zu vernachlässigen, weil dadurch die Kenntniss der Leistungsfähigkeit lebender Zellen erheblich erweitert wird. Und wenn auch eine solche Beobachtung Jahre, Jahrzehnte lang unverstanden, weil unvermittelt bleibt, wie z. B. das Vorhandensein von Aluminium im Bärlappsamen, trotzdem beide Hydroxyde desselben schon durch Spuren von Säuren, Alkalien oder Salzen unlöslich werden, so wäre es doch unzulässig, sie zu ignoriren. Indessen zunächst sind es die Elemente erster Ordnung, welche die Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen müssen.

Was verleiht ihnen die grossen Vorzüge vor allen anderen Elementen? Was macht sie allein tauglich zur Unterhaltung des Lebensprocesses in allen Zonen?

Ich habe schon vor mehr als zwanzig Jahren hervorgehoben, dass sie sämmtlich ein kleines Atomgewicht haben. Keines übersteigt 56 (Eisen); die Zahlen sind (mit Weglassung der Decimalen):

Wasserstoff . . .	1	Stickstoff	14
Kohlenstoff . . .	12	Fluor	19
Sauerstoff	16	Magnesium . . .	24
Natrium	23	Phosphor	31
Silicium	28	Chlor	35
Schwefel	32	Calcium	40
Kalium	39	Eisen	56.

Also gehören die 14 organischen Elemente erster Ordnung zu denjenigen 23 Elementen, welche das kleinste Atomgewicht haben. Die Bedeutung dieser Thatsache erhellt sofort, wenn man erwägt, dass in gleichen Gewichtsmengen zweier Nahrungsarten die grössere Anzahl von Atomen da sein muss, wo die Bestandtheile das geringere Atomgewicht haben. Beim Lebenschemismus kommt es aber, wie sich noch zeigen wird, auf die Wirkung von vielen Atomen im kleinsten Raume an.

Ferner haben die genannten organischen Elemente sämmtlich ein auffallend niedriges specifisches Gewicht. Wenn man den Fehlerquellen und Lücken in den Bestimmungen einen noch so grossen Spielraum anweist, die Volumgewichte der organischen Elemente bleiben doch die kleinsten, nämlich für den festen Aggregatzustand, das Wasser = 1 gesetzt:

Wasserstoff 0,62 bis 0,73 (berechnet),
Kohlenstoff 1,8 bis 3,6,
Stickstoff 1,2 oder wenig mehr (berechnet),
Sauerstoff wenig mehr als 1,1 (berechnet),
Fluor wenig mehr als 1,0 (berechnet),
Natrium 0,97,
Magnesium 1,7,
Silicium 2,0 bis 2,49,
Phosphor 1,82 bis 2,34,
Schwefel 1,9 bis 2,1,
Chlor 1,8 (berechnet),
Kalium 0,86 bis 0,88,
Calcium 1,5 bis 1,8,
Eisen 6,9 bis 8,0.

Somit hat allein das immer nur in minimalen Mengen in lebenden Körpern vorkommende Eisen ein hohes Volumgewicht.

Die Bedeutung dieser neuen Thatsache von der geringen Dichte aller übrigen wesentlichen organischen Elemente liegt auf der Hand. Wenn die Kleinheit des Atomgewichtes die grössere Anzahl der Atome im Lebenschemismus beweist, so weist die Kleinheit des Volumgewichts auf die grössere Anzahl der Moleküle hin, welche bei Gleichheit des Gewichts in Action treten. Leben ist Bewegung und bedarf leicht beweglicher Stoffe, besonders der Gase. Leben ist Wechsel der Stoffe. Die leichter beweglichen Stoffe sind die mit kleinem Atomgewicht und kleinem Volumgewicht, daher auch die häufigsten an der Erdoberfläche, daher für die Unterhaltung der vitalen chemischen Reactionen die geeignetsten. Würden eines Tages die meisten organischen Elemente selten, dann müssten alle Pflanzen und Thiere verhungern.

Die organischen Grundstoffe haben noch mehr Eigenschaften, welche sie zur Lebenserhaltung vorzüglich tauglich machen. Sie haben alle eine hohe specifische Wärme, welche, die des Wassers = 1 gesetzt, innerhalb der Grenzen 0,10 und 0,46 eingeschlossen ist — die des Wasserstoffs geht bis 5,88 — während alle übrigen Elemente eine specifische Wärme von höchstens 0,10 und meistens viel weniger haben, bis zu 0,028 hinab. Aus der hohen specifischen Wärme aller organischen Elemente, besonders aber des Wasserstoffs, folgt, dass auch die sämmtlichen wesentlichen Bestandtheile der Gewebe lebender Naturkörper, welche nur aus deren Verbindungen sich aufbauen, eine relativ hohe specifische Wärme haben müssen. Ja schon aus ihrem reichen Wassergehalt ergibt sich diese Folgerung. Die biologische Bedeutung derselben ist, wie bereits von anderer Seite (Errera) bemerkt wurde, jedenfalls darin zu suchen, dass die lebenden Gewebe, wenn ihnen Wärme zugeführt wird, zwar dadurch leicht eine Steigerung der intramolekularen Bewegungen, aber viel schwerer eine Temperaturerhöhung erfahren, als unter sonst gleichen Umständen anorganische Gebilde, z. B. die Edelmetalle.

Da die Bestandtheile der lebenden Körper auch fast alle schlechte Wärmeleiter sind, so können sie plötzlichen Temperaturschwankungen ihrer nächsten Umgebung nicht schnell folgen — die Baumrinde leitet noch schlechter als das Holz — und hierin liegt ein grosser Vortheil namentlich für alle Landthiere und Landpflanzen, während im Meere überhaupt die Temperaturschwankungen viel weniger rapide sind und innerhalb engerer Grenzen nach oben und unten vor sich gehen, als in der Atmosphäre. Alles Leben auf der Erde und im Meere ist über-

haupt in so enge Grenzen der Wärme eingeschlossen, dass beim Wechsel der Jahreszeiten, zumal in den gemässigten Zonen, ohne die hohe specifische Wärme der organischen Elemente und das geringe Wärmeleitungsvermögen der aus ihnen aufgebauten Gewebe, durch die Kälte noch viel mehr kleine und kleinste Organismen alljährlich vernichtet werden würden, als jetzt schon im Winter der Fall ist.

Ausser den betrachteten für den Lebensprocess wichtigen physikalischen Eigenschaften haben die organischen Grundstoffe noch die chemische Besonderheit an sich, dass sie die zahlreichsten Verbindungen miteinander eingehen und sehr grosse Moleküle bilden, Moleküle aus 4 oder 5, auch 6, sogar 7 verschiedenen Elementen. Und diese Verbindungen sind leicht löslich und zerfallen sehr leicht, wie z. B. das Blutroth, welches in seinen Krystallen 6 Elemente vereinigt.

Auch die Eiweissmoleküle, ohne welche Leben nicht gedacht werden kann, sind sehr gross und zersetzen sich leicht. Sie verändern sich unter den geringfügigsten Einflüssen.

Diese Labilität der organischen Verbindungen in lebenden Körpern ist zwar für die Erforschung derselben das grösste Hinderniss, in theoretischer Hinsicht aber der wichtigste neue Ausgangspunkt der künftigen Biochemie.

Wenn man sich nämlich vergegenwärtigt, was eigentlich in lebenden Körpern lebt, so kommt man stets zu der Antwort: nur der Zelleninhalt, das Protoplasma, lebt, und so verschieden die Meinungen über dessen Beschaffenheit auch sind, darüber herrscht kein Streit mehr, dass es ein ausserordentlich complicirtes Gebilde ist und nicht ein »schleimartiger« oder »eiweissartiger« Stoff.

Das Protoplasma zersetzt sich so lange es lebt immerzu. Den Ersatz des bei dieser Selbstverzehrung verbrauchten Materials liefern eben die organischen Elemente in den assimilirbaren Verbindungen der Nahrung. Nur darf man sich nicht vorstellen, dass die Dissimilation, die ganze Reihe der kataplastischen chemischen Vorgänge, in der Weise vor sich ginge, wie bei den im Laboratorium versuchten Nachbildungen der Stoffwechselprocesse. Wenn man noch so viele Bestandtheile lebender Thiere und Pflanzen durch künstliche Synthese darstellt, so würde man doch damit nicht in einem einzigen Falle nachgewiesen haben, dass der lebende Körper ebenso verfährt. Und mit den Zersetzungen verhält es sich geradeso. Wie der Organismus die von ihm ausgeschiedene Kohlensäure bildet, ist unbekannt, und doch gibt es gar kein Leben ohne Kohlensäurebildung! Der Grund, weshalb dieses Problem noch nicht

hat gelöst werden können, liegt ohne allen Zweifel wesentlich in der ungenügenden Kenntniss der Beschaffenheit des Ortes, wo die Kohlensäurebildung stattfindet. Dass die Oxydationsherde nur im Protoplasma liegen, ist gewiss, aber wie sehen sie aus?

Da das Protoplasma eine erst seit der Verbesserung der Mikroskope in der Neuzeit erkannte, ausserordentlich verwickelte Structur hat, wobei die sehr kleinen Spalträume und Maschen, oft an der Grenze der Sichtbarkeit, nicht einmal von Bestand sind, sondern sich unter den Augen des Beobachters ändern, so entsteht die Frage, ob in einer so eigenthümlichen Localität überhaupt die chemischen Reactionen in der gewöhnlichen Weise ablaufen können. Eine Untersuchung der für das Zustandekommen einer jeden chemischen Reaction nothwendigen Bedingungen hat ergeben, dass allerdings eine der wichtigsten im lebenden Protoplasma wegen der Kleinheit seiner Hohlräume nicht verwirklicht sein kann, nämlich die Massenwirkung. Nur in sehr beschränktem Umfang kann es im kleinsten Raum zur Erzielung des chemischen Gleichgewichts kommen. Dann muss aber auch der Chemismus im lebenden Zellinhalt, der Protoplasma-Chemismus, d. h. die Wechselwirkung der leicht zersetzbaren Verbindungen der organischen Elemente eine andere sein und andere Folgen haben, als im Probirglas und in der Retorte. Schon die ausserordentlich feine Vertheilung jedes kleinsten Stückchens Nahrung, welches an Millionen und aber Millionen verschiedenen Stellen des Organismus zur Verbrennung kommt, und dann namentlich die auffallend niedrige, äusserlich messbare Durchschnitts-Temperatur der Verbrennungsherde machen es wahrscheinlich, dass im engen Maschenraum des lebenden Protoplasma es nicht mehr die grossen Moleküle, sondern die Atome im Momente ihres Freiwerdens sind, die aufeinanderstürzen.

Nicht die gewöhnlichen chemischen Reactionen, bei denen ungeheure Mengen von Molekülen massenbildend am gleichen Ort in Action treten, sondern atomistische Reactionen sind es, die hier vor sich gehen. Einzelkämpfe mit starken ungesättigten Affinitäten frei werdender Atome im *Status nascens,* und zwar nirgends in genau gleicher Weise, da die Protoplasmen individuell verschieden sind wie die Organismen.

So verspricht die genauere Ermittelung der Eigenschaften lebenswichtiger Verbindungen aus organischen Elementen im Zusammenhang mit der Erforschung der feinsten Structur des pflanzlichen und thierischen Protoplasma helles Licht zu werfen auf die Grundlage alles Lebens: die biochemischen Processe.